



⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑯ Offenlegungsschrift  
⑯ DE 198 14 575 A 1

⑯ Int. Cl. 6:  
**G 01 N 21/59**  
G 01 N 21/41  
G 01 N 21/77  
G 01 N 33/00  
F 23 N 5/00

⑯ Aktenzeichen: 198 14 575.6  
⑯ Anmeldetag: 1. 4. 98  
⑯ Offenlegungstag: 7. 10. 99

⑯ Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

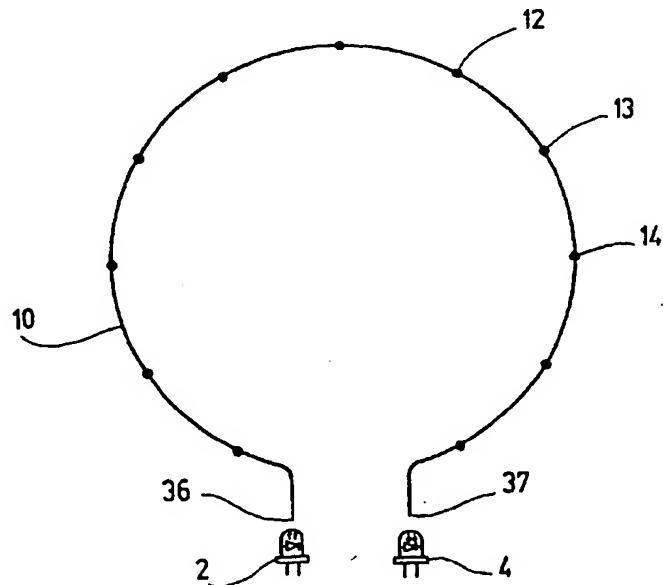
⑯ Erfinder:  
Schneider, Joachim, 82008 Unterhaching, DE;  
Pfefferseder, Anton, 82054 Sauerlach, DE; Hensel,  
Andreas, 71665 Vaihingen, DE; Oppelt, Ulrich,  
85604 Zorneding, DE

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑯ Optischer Sensor

⑯ Die Erfindung betrifft einen optischen Sensor zur Bestimmung wenigstens eines physikalischen und/oder chemischen Parameters einer Probe, mit wenigstens einem optischen Sender und wenigstens einem optischen Empfänger und einem in einem Strahlengang zwischen dem wenigstens einen optischen Sender und dem wenigstens einen optischen Empfänger angeordneten und der Probe aussetzbaren, bei Parameteränderung der Probe seine Absorption und/oder seinen Brechungsindex für elektromagnetische Strahlung bestimmter Wellenlänge verändernden, sensitiven Element, insbesondere gassensitiven Element, und gegebenenfalls mit einer dem wenigstens einen optischen Empfänger nachgeschalteten Auswerteeinheit.

Es ist vorgesehen, daß der wenigstens eine optische Sender (2) und der wenigstens eine optische Empfänger (4) über wenigstens einen Lichtwellenleiter (10) mit wenigstens zwei voneinander beabstandeten sensitiven Elementen gekoppelt ist.



## Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen optischen Sensor mit den im Oberbegriff des Patentanspruchs 1 genannten Merkmalen sowie dessen Verwendung.

## Stand der Technik

Es sind verschiedene Arten von Sensoren zur Detektion von Proben und Substanzen bekannt, beispielsweise Gassensoren zur Brandfrüherkennung und Brandmeldung. So sind in der älteren deutschen Patentanmeldung 197 41 335.8 optisch arbeitende Gassensoren beschrieben, die auf dem Prinzip der Messung einer Wechselwirkung von bestimmten Gasen mit einer lichtleidenden Schicht beruhen, wobei ein Absorptionsgrad von einer bestimmten Wellenlänge abhängig ist von der Gaskonzentration. Nachteilig an den bekannten optischen Gassensoren sind unter anderem die relativ aufwendigen und voluminösen Meßaufbauten, da neben einem optischen Sender und einem optischen Empfänger eine Anordnung einer gassensitiven Schicht innerhalb eines Strahlenganges zwischen diesen beiden Bauteilen notwendig ist. Insbesondere sind Messungen, bei denen Konzentrationen bestimmter Gase an von den optischen Bauteilen räumlich weiter entfernten und beispielsweise stark temperatur- und/oder schwingungsbelasteten Meßorten erfasst werden sollen, nur unter Schwierigkeiten möglich.

## Vorteile der Erfindung

Der erfundungsgemäße optische Sensor mit den im Patentanspruch 1 genannten Merkmalen bietet den Vorteil, daß durch die räumliche Trennbarkeit des wenigstens einen optischen Senders und des wenigstens einen optischen Empfängers sowie wenigstens zwei mit einer Probe, beispielsweise einem Gas oder Gasgemisch, wechselwirkenden, die Transmission für Licht bestimmter Wellenlänge verändernden, sensitives Schichten sehr kompakte und kostengünstige integrierte Bauteile darstellbar sind. Bei einer Kopplung eines vorzugsweise aus optischem Sender und optischem Empfänger bestehenden integrierten Moduls mit den an beliebigen entfernten Orten einsetzbaren sensitives Schichten über wenigstens einen Lichtwellenleiter ist die völlige räumliche Trennung dieser Baueinheiten voneinander und damit eine Positionierung der gassensitiven Schichten auch an solchen Orten möglich, wo aufgrund der Platzverhältnisse und/oder der thermischen und/oder mechanischen Verhältnisse keine empfindlichen optischen und/oder elektronischen Bauteile verwendet und eingebaut werden können.

Durch den Einsatz einer für elektromagnetische Strahlung weitgehend durchlässigen und bei Kontakt mit einem Gas oder einem Gasgemisch seine Absorptionseigenschaften und/oder seinen Brechungsindex für elektromagnetische Strahlung verändernden gassensitiven Schicht oder Membran, im folgenden auch als Optode bezeichnet, als sensitives Element können auf einfache Weise sehr kompakte und miniaturisierbare Gassensoren hergestellt werden. Unter einer Optode werden im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung insbesondere Polymerschichten verstanden, die aufgrund in ihr eingelagerter Indikatorsubstanzen eine Abhängigkeit der Lichttransmission von der Konzentration eines bestimmten Gases in der die Optode umgebenden Atmosphäre zeigen. Erfindungsgemäß eingesetzte Optoden reagieren selektiv und reversibel auf die Konzentration eines bestimmten Gases. Die Wechselwirkung der in der Optode vorhandenen Indikatorsubstanz führt beispielsweise zu einem zumindest lokalen Maximum der Absorption für

elektromagnetische Strahlung, beispielsweise Licht. Die Lage des Absorptionsmaximums, das heißt der Wellenlängenbereich, liegt typischerweise für jedes spezifische Gas und/oder Gasgemisch bei jeweils unterschiedlichen Wellenlängenwerten der elektromagnetischen Strahlung, wobei zudem die Höhe des Absorptionsmaximums mit der Konzentration des wechselwirkenden Gases und/oder Gasgemisches korreliert ist. Durch Messung der Absorptionseigenschaften der dem Gas ausgesetzten und mit diesem wechsel-

wirkenden, in der gassensitiven Schicht oder Membran vorhandenen, Indikatorsubstanz können mit relativ einfachen optischen Vorrichtungen sehr geringe Gaskonzentrationen gemessen und nachgewiesen werden. Vorzugsweise spricht die in der gassensitiven Schicht vorhandene, vorzugsweise in einer Polymermatrix eingelagerte, Indikatorsubstanz nur auf ein bestimmtes Gas an, so daß mit verschiedenen Indikatorsubstanzen jeweils gasspezifisch wirkende Sensoren darstellbar sind.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung des optischen Sensors sind wenigstens einer Quelle für elektromagnetische Strahlung, vorzugsweise einem optischen Sender, und wenigstens einem Detektor für elektromagnetische Strahlung, vorzugsweise einem optischen Empfänger, – in deren Strahlengang – wenigstens zwei voneinander unabhängige Optoden zwischen geschaltet, die je nach physikalischer und/oder chemischer Wechselwirkung mit einem bestimmten Gas die Transmissions- beziehungsweise Absorptionseigenschaften für die elektromagnetische Strahlung verändern. Die wenigstens zwei Optoden sind über wenigstens einen Lichtwellenleiter mit dem Sender und Empfänger gekoppelt. Die Quelle für elektromagnetische Strahlung kann beispielsweise eine Leuchtdiode als optischer Sender sein, die Licht in einem wählbaren Wellenlängenbereich abstrahlt. Ebenso möglich ist die Verwendung einer Laserlichtquelle als Quelle für elektromagnetische Strahlung, was den Vorteil einer sehr exakten Abstimmbarkeit der Wellenlänge der abgestrahlten elektromagnetischen Wellen auf die Lage eines Absorptionsmaximums der Optoden aufweist. Zur Detektion der elektromagnetischen Strahlung kommt dementsprechend eine Photodiode als optischer Empfänger mit einem auf die abgestrahlte Wellenlänge der Leuchtdiode oder Laserlichtquelle abgestimmten Frequenzbereich in Frage. Ein derartiger Aufbau kann in einfacher Weise mit sehr kostengünstigen Einzelteilen realisiert werden. Die im Strahlengang zwischen optischem Sender und optischem Empfänger angeordneten Optoden werden vorzugsweise entsprechend ihren Absorptionseigenschaften bei bestimmten Lichtwellenlängen quantitativ geeicht beziehungsweise kalibriert, so daß verschiedene Lichtwellenlängen mit verschiedenen reagierenden Indikatorsubstanzen unterschiedliche Gase detektieren können.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung sind die wenigstens zwei über wenigstens einen Lichtwellenleiter mit dem wenigstens einen optischen Sender und dem wenigstens einen optischen Empfänger gekoppelten Optoden in Reihe geschaltet. Hierdurch können zwei oder mehrere Optoden, die zudem zweckmäßigerweise voneinander unabhängig sind, an nahezu beliebig entfernten Orten eingesetzt werden. Die nahezu verlustlose Übertragung der elektromagnetischen Strahlung, vorzugsweise im Lichtbereich, innerhalb des Lichtwellenleiters ermöglicht die räumliche Trennung von optischen Sendern und Empfängern von den Optoden. So ist es problemlos möglich, die Optoden an Orten einzusetzen, die aufgrund beispielsweise ihrer Temperaturbelastung zum Einsatz von empfindlichen optischen und elektronischen Bauteilen ungeeignet sind. Die Optoden können sowohl über eine Reihen- als auch eine Parallelschaltung oder auch in einer Kombination von Reihen- und Par-

alleinschaltung mit dem optischen Sender und dem optischen Empfänger gekoppelt sein. Die Gestaltung der Verbindung beziehungsweise Koppelung des wenigstens einen Lichtwellenleiters mit den Optoden kann in vorteilhafter Weise so ausgeführt sein, daß ein einen Kern des Lichtwellenleiters auf seiner gesamten Länge umgebender Mantel an einzelnen Stellen unterbrochen ist und an diesen Stellen jeweils mit einer, die Optoden bildenden, gassensensitiven Schicht bedeckt ist. Diese Abschnitte, an denen der Mantel unterbrochen ist, können entweder als beispielsweise ovale Fenster ausgebildet sein oder auch als Abschnitte, an denen der Kern an seinem gesamten Umfang vom Mantel befreit ist und statt dessen mit der die Optode darstellenden gassensensitiven Schicht bedeckt ist. Der die Lichtsignale annähernd dämpfungsfrei leitende Kern besteht bei herkömmlichen Lichtwellenleitern beispielsweise aus Quarzglas.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung ist der Brechungsindex ( $n_2$ ) für Licht des Kernes des Lichtwellenleiters so gewählt, daß er signifikant über dem Brechungsindex ( $n_3$ ) für Licht des Mantels liegt. Auf diese Weise wird erreicht, daß im Kern des Lichtwellenleiters geführtes Licht an einer Grenzfläche Kern-Mantel unter Totalreflexion umgelenkt wird und damit den Kern nicht verläßt, womit zudem eine verlustfreie Lichtleitung sichergestellt ist. Durch geeignete Wahl eines Materials für die gassensitive Schicht mit einem Brechungsindex ( $n_3$ ) für Licht der Optode mit einem annähernd gleichen Wert wie der Brechungsindex ( $n_2$ ) für Licht des Kernes kann in vorteilhafter Weise erreicht werden, daß im Kern geführtes Licht eine Grenzfläche Kern-Optode nahezu verlustfrei ohne Reflexion überwinden kann, jedoch an einer Grenzfläche Optode-Luft unter Totalreflexion zurückgelenkt wird und wieder in den Kern eindringt. Durch eine Wechselwirkung der Optode mit einem umgebenden Gas und/oder Gasgemisch ändert sich das Transmissionsverhalten für Licht der Optode. Ein die Optode durchlaufender Lichtstrahl wird dabei abgeschwächt. Diese Abschwächung des Lichts kann mittels der dem optischen Empfänger nachgeschalteten Auswerteeinheit erfaßt und analysiert werden. Durch entsprechend gewählte Empfindlichkeit können sehr genaue Werte für verschiedene Gaskonzentrationen ermittelt und angezeigt werden. In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist ein Lichtwellenleiter mit mehreren voneinander abständeten Optoden versehen, die auf jeweils das gleiche Gas und/oder Gasgemisch sensitiv reagieren. Auf diese Weise kann in einfacher Weise, bei entsprechender Verlegung des Lichtwellenleiters, das Gas und/oder das Gasgemisch an beliebigen Orten schon in sehr geringen Konzentrationen nachgewiesen werden.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist der wenigstens eine Lichtwellenleiter auf seiner Länge mit mehreren voneinander abständeten Optoden versehen, die auf jeweils unterschiedliche Gase sensitiv sind. Durch geeignete Modulation des vom optischen Sender ausgestrahlten Lichts und entsprechender Auswertung und Signalzuordnung mittels der dem optischen Empfänger nachgeschalteten Auswerteeinheit kann mit hoher Genauigkeit die Gaskonzentration an jeder einzelnen Optode ermittelt werden. Hierzu ist es zweckmäßig, die Laufzeit der Impulse zu analysieren und auf diese Weise die verschiedenen Signale den verschiedenen Optoden genau zuzuordnen, wobei dazu das an den als Störstellen im Leiter wirkenden Optoden reflektierte Signal ausgewertet wird. Der wenigstens eine Lichtwellenleiter kann in vorteilhafter Weise ringförmig ausgebildet sein, wodurch eine einfache verdeckte Verlegung auch innerhalb größerer Areale sowie eine eindeutige Zuordnbarkeit der zum optischen Empfänger gelangenden Signale zu den einzelnen Optoden ermöglicht wird.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, mehr als einen ringförmigen Lichtwellenleiter vorzusehen. Beispielsweise können zwei oder mehr ringförmig ausgebildete Lichtwellenleiter mit jeweils

5 für unterschiedliche Gase und/oder Gasgemische sensiven Optoden verwendet werden. Diese mehreren Lichtwellenleiter können in vorteilhafter Weise gebündelt und parallel verlegt werden, wodurch eine zuverlässige Detektion unterschiedlicher Gase und/oder Gasgemische an definierten, 10 auch weit entfernt liegenden, Orten ermöglicht wird. Vorteilhaft ist weiterhin, für die wenigstens zwei verwendeten Lichtwellenleiter einen gemeinsamen optischen Sender vorzusehen, was unter anderem den Bauaufwand reduziert. Zweckmäßigerweise ist jedoch jeder der mehreren Lichtwellenleiter mit einem separaten optischen Empfänger gekoppelt, um eine zuverlässige Signalauswertung zu ermöglichen. Um zu kompakten und möglichst betriebssicheren Baueinheiten zu gelangen, kann es vorteilhaft sein, optische Sender und Empfänger jeweils in einem monolithischen Verbund, beispielsweise durch Vergießen mit Kunststoff, mit den Stirnseiten der Lichtwellenleiter zu verbinden. Wahlweise können zudem optischer Sender und Empfänger in einer gemeinsamen Baugruppe räumlich zusammengefaßt sein oder in einem gemeinsamen Bauteil integriert sein, 15 20 25 was hinsichtlich einer erleichterten Montage erhebliche Vorteile aufweist.

Der erfindungsgemäße optische Sensor kann weiterhin zur Überwachung einer Luftgüte in Räumen, beispielsweise zur Steuerung von Lüftungsklappen in Klimaanlagen, vorteilhaft eingesetzt werden. Ebenso können erfindungsgemäße optische Sensoren zur Lüftungs- und Klimaregelung in Innenräumen und/oder in Tunnels eingesetzt werden. Selbstverständlich eignen sich derartige optische Sensoren auch für Rauch- und/oder Brandmelder, wobei durch eine 30 35 40 45 50 Bestimmung von Brandleitgasen durch einzelne optische Sensoren oder eine Kombination mehrerer Sensoren die Detektions- und Meldezeit gegenüber bekannten Vorrichtungen stark reduziert sowie die Falschalarmisicherheit signifikant erhöht werden kann. In der oben beschriebenen Weise können durch weiträumige Verlegungen von mit entsprechenden Optoden versehenen Lichtwellenleitern sehr einfach aufgebaute, wartungsfreie und zuverlässige optische Brandmelder realisiert werden. Durch den äußerst geringen Stromverbrauch der als optische Sender und Empfänger vorzugsweise verwendeten Halbleiterbauteile, beispielsweise als LED ausgeführt, lassen sich mittels Akkumulatorpuffierung in vorteilhafter Weise stromnetzunabhängige Brandmelder realisieren. Eine weitere vorteilhafte Verwendungsmöglichkeit ist eine Detektion von Kohlenwasserstoffen.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den übrigen, in den Unteransprüchen genannten Merkmalen.

#### Zeichnungen

Die Erfindung wird nachfolgend in einem Ausführungsbeispiel anhand der zugehörigen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

55 60 65 66 Fig. 1 eine Schemadarstellung einer ersten Variante eines einzelnen optischen Sensors;  
 Fig. 2 eine Schemadarstellung einer Variante eines optischen Sensors mit mehreren Lichtwellenleitern;  
 Fig. 3 eine Schemadarstellung einer weiteren Variante eines optischen Sensors;  
 Fig. 4 eine schematische Darstellung eines mit einer Optode versehenen Lichtwellenleiters und  
 Fig. 5 eine Prinzipdarstellung der Reflexionsvorgänge im

Lichtwellenleiter und an der Optode.

#### Beschreibung der Ausführungsbeispiele

Fig. 1 zeigt eine Maßanordnung für einen optischen Sensor, bestehend aus einer Quelle für elektromagnetische Strahlung als optischen Sender 2, hier beispielsweise einer Leuchtdiode, einem Detektor für elektromagnetische Strahlung als optischen Empfänger 4, beispielsweise einer Photodiode, die über einen Lichtwellenleiter 10 mit mehreren voneinander beabstandeten sensitiven Elementen, im folgenden als Optoden 12 bezeichnet, gekoppelt sind. Als Quelle für elektromagnetische Strahlung kann jedoch beispielsweise ebensogut eine Laserlichtquelle zum Einsatz kommen.

Bei vielen Anwendungen ist es wünschenswert, die gassensitiven Schichten beziehungsweise die Optoden 12 räumlich vom optischen Sender 2 und optischen Empfänger 4 zu trennen, so beispielsweise bei Brandmeldern oder bei Sensoren, die mit sehr heißen Gasen wechselwirken sollen. Die beiden Halbleiterbauteile können beispielsweise als sogenannte SMD(Surface Mounted Device)-Bauteile auf einer gemeinsamen Platine in einem hier nicht dargestellten Gehäuse angebracht sein, wogegen die Optoden 12 vorzugsweise an für das zu detektierende Gas leichter zugänglichen Stellen, das heißt außerhalb des Gehäuses, angebracht sind. Zur optischen Koppelung der Optoden 12 mit dem optischen Sender 2 und dem optischen Empfänger 4 wird erfundungsgemäß der Einsatz, wenigstens eines Lichtwellenleiters 10 bereitgestellt. Das vom optischen Sender 2 abgestrahlte Licht wird dabei senkrecht an einer vorzugsweise geraden Stirnseite 36 in den Lichtwellenleiter 10 eingekoppelt, der an seinem anderen Ende, dem optischen Empfänger 4 zugewandt, eine ebenfalls gerade Stirnseite 37 aufweist, die senkrecht zur Längsrichtung des Lichtwellenleiters 10 angeordnet ist. Auf diese Weise ist eine räumliche Trennung von Elektronik und Optoden 12 möglich.

Es können optische Sender 2 und Empfänger 4 verwendet werden, die mit infrarotem oder ultraviolettem Licht oder die mit Licht im sichtbaren Wellenlängenbereich, vorzugsweise jeweils in einem schmalen Wellenlängenbereich, arbeiten. Entscheidend für die Funktion der Maßanordnung ist die Abstimmung zwischen der Wellenlänge des vom optischen Sender 2 ausgesandten Lichts und der absorbierten Wellenlänge der im folgenden beschriebenen gassensitiven Schichten beziehungsweise Optoden 12.

Die gassensitiven Schichten beziehungsweise Optoden 12 bestehen jeweils aus einem chemisch weitgehend inerten Trägermaterial, vorzugsweise einem Polymermaterial, und einer darin eingelagerten oder darauf aufgebrachten Indikatorsubstanz. Die Indikatorsubstanz zeigt bei Kontakt mit bestimmten Proben, beispielsweise einem bestimmten Gas und/oder Gasgemisch, eine Wechselwirkung in Form einer Transmissionsänderung für elektromagnetische Strahlung einer bestimmten Wellenlänge. Bei einer bestimmten Gaskonzentration zeigt sich ein fester Zusammenhang zu dem Grad der Absorption von transmittierendem Licht. Die Wirksamkeit der gassensitiven Schichten sind bisher für eine Vielzahl von verschiedenen Gasen und Gasgemischen nachgewiesen, wobei die kleinsten damit bisher nachweisbaren Gaskonzentrationen im Bereich von wenigen ppb liegen.

Jede der im dargestellten Ausführungsbeispiel am Lichtwellenleiter 10 angeordneten Optoden 12 enthält eine für ein bestimmtes Gas und/oder Gasgemisch sensible Indikatorsubstanz und wird vor dem Einbau mittels vorheriger Messungen kalibriert. Sobald das zu detektierende Gas in den Bereich zwischen optischem Sender 2 und optischem

Empfänger 4 eintritt, das heißt wenigstens eine der Optoden 12 erreicht und mit deren Indikatorsubstanz wechselwirkt, ändert die in der Optode 12 enthaltene Indikatorsubstanz ihre Absorption für bestimmte Wellenlängenbereiche der mit ihr wechselwirkenden elektromagnetischen Strahlung. Da diese Wellenlänge einem lokalen Absorptionsmaximum der Indikatorsubstanz entspricht, registriert der optische Empfänger 4 eine veränderte Amplitude des empfangenen Lichtsignals. Die Höhe des Absorptionsmaximums ist bei den bisher bekannten Optoden 12 proportional zur Konzentration des Gases. Das empfangene Lichtsignal kann mittels einer hier nicht dargestellten Auswerteeinheit erfaßt und beispielsweise an einen Signalgeber weitergeleitet werden. Im dargestellten Ausführungsbeispiel sind die in Reihe geschalteten Optoden 12 jeweils auf die gleiche Substanz kalibriert, wodurch bei ausreichend lang benütztem Lichtwellenleiter 10 und darauf aufgebrachten und voneinander beabstandeten Optoden 12 eine Detektion eines bestimmten Gases und/oder Gasgemisches über große Entfernung beziehungsweise innerhalb eines weiten Areals möglich ist. Beispielsweise kann mit einem derartigen optischen Sensor mit nur sehr wenigen Bauteilen und mit nur einer Leitung, nämlich dem Lichtwellenleiter 10, bei entsprechend gewählter Sensitivität der Optoden 12 ein hochempfindlicher Brandmelder realisiert werden. Durch Einspeisung von geeignet modulierten Lichtsignalen durch den optischen Sender 2 (hier eines Lasers) sowie einer geeigneten Auswertung hinsichtlich der Laufzeiten ist es zudem möglich, die Wechselwirkung jeder einzelnen Optode 12 mit dem Gas und/oder Gasgemisch zu detektieren. Hierdurch wird es möglich, den genauen Ort der Wechselwirkung und damit den Ort beispielsweise eines Brandes mit hoher Genauigkeit zu erfassen und anzuzeigen.

Fig. 2 zeigt in einer Schemadarstellung eine Variante eines optischen Sensors, bei dem mehrere Lichtwellenleiter 10 mit jeweils mehreren Optoden 12, 13, 14 versehen sind. Gleiche Teile wie in der Fig. 1 sind mit gleichen Bezugszeichen versehen und nicht nochmals erläutert. Im gezeigten Ausführungsbeispiel werden drei ringsförmig ausgebildete Lichtwellenleiter 10 von einem gemeinsamen optischen Sender 2 gespeist. Ebenso möglich ist es jedoch, für jeden einzelnen Lichtwellenleiter einen eigenen optischen Sender 2 vorzusehen, wobei diese mehreren optischen Sender 2 jeweils elektromagnetische Strahlung entweder im gleichen oder auch in unterschiedlichen Wellenlängenbereichen aussenden können. Möglich ist es zudem, anstatt von nur drei einer Vielzahl von Lichtwellenleitern 10 vorzusehen.

Für jeden der drei Lichtwellenleiter 10 ist ein eigener optischer Empfänger 4, 6 und 8 vorgesehen, so daß eine Analyse der mit unterschiedlichen Gasen und/oder Gasgemischen wechselwirkenden Optoden 12, 13, 14 möglich ist. Die mit den Lichtwellenleitern 10 verbundenen Optoden 12, 13, 14 sind zweckmäßigerweise derart kalibriert und abgestimmt, daß die Optoden 12 des ersten Lichtwellenleiters 10 auf ein spezifisches Gas und/oder Gasgemisch sensiv sind, daß die Optoden 13 des zweiten Lichtwellenleiters 10 auf ein anderes Gas und/oder Gasgemisch sensiv sind und daß die Optoden 14 des dritten Lichtwellenleiters 10 wiederum auf ein davon verschiedenes Gas und/oder Gasgemisch sensiv sind. Eine derartige Anordnung kann fast beliebig um weitere Lichtwellenleiter mit darauf aufgebrachten und individuell kalibrierten Optoden erweitert werden.

Im dargestellten Ausführungsbeispiel ist vorgesehen, jeweils gleichartige, das heißt auf die gleiche Substanz sensible, Optoden 12, 13, 14 für jeweils einen Lichtwellenleiter 10 vorzusehen. Diese können wie in der zu Fig. 1 beschriebenen Weise enger oder weiter voneinander beabstandet sein, so daß bei Bedarf eine Erfassung von Substanzen über

große Wege und innerhalb weiter Areale möglich ist. Die Optoden 12, 13, 14 können beispielsweise derart kalibriert sein, daß sie auf verschiedene Verbrennungsgase sensitiv sind, womit eine zuverlässigere Branddetektion und -meldeung ermöglicht wird als bei Verwendung von nur auf ein Verbrennungsgas sensitiven Optoden 12. Um in den gewünschten Arealen jeweils alle gewünschten Substanzen zu detektieren, ist es zweckmäßig, die drei Lichtwellenleiter 10 parallel zu verlegen. Die Verwendung eines einzelnen optischen Empfängers 2, 4 und 6 für jeden einzelnen verwendeten Lichtwellenleiter 10 erleichtert die Auswertung hinsichtlich verschiedener zu erfassender Gase und/oder Gasgemische. Sollen zudem, wie bereits zur Fig. 1 beschrieben, die exakten Orte der Wechselwirkungen einer Optode 12, 13, 14 mit einem Gas und/oder Gasgemisch erfaßt und analysiert werden, ist die Signalverarbeitung in einer den optischen Empfängern 4, 6, 8 nachgeschalteten Auswerteeinheit bei Verwendung von drei optischen Empfängern 4, 6 und 8 weniger aufwendig als bei Verwendung nur eines.

Fig. 3 zeigt in einer schematischen Darstellung eine weitere Variante eines optischen Sensors. Gleiche Teile wie in den vorherigen Figuren sind mit gleichen Bezugssymbolen versehen und nicht nochmals erläutert. Hier ist lediglich ein Lichtwellenleiter 10 mit mehreren, für jeweils unterschiedliche Substanzen beziehungsweise Gase und/oder Gasgemische sensitive, Optoden 12, 13 und 14 vorgesehen. Der optische Sender 2 an einem Ende des Lichtwellenleiters 10 sendet elektromagnetische Strahlung in dem Wellenlängenbereich aus, in dem die Optoden 12, 13 und 14 eine Transmissionsänderung bei Wechselwirkung mit einem bestimmten Gas und/oder Gasgemisch zeigen. Der optische Empfänger 4 am anderen Ende des Lichtwellenleiters leitet die empfangenen Signale zu einer hier nicht dargestellten Auswerteeinheit, die in der Lage ist, das empfangene Signal hinsichtlich der Amplituden bei den relevanten Frequenzen mit dem vom optischen Sender 2 ausgesandten Signal zu vergleichen und daraus Aussagen über die detektierten Substanzen sowie deren genauen Ort zu gewinnen. Um letzteres zu ermöglichen, ist es jedoch notwendig, das vom optischen Sender 2 ausgesandte Signal auf geeignete Weise zu modulieren und das an einem optischen Empfänger am Lichteinereingang erhaltene reflektierte Signal hinsichtlich der Impulsantworten auszuwerten.

So ist es beispielsweise möglich, mehrere Gruppen von jeweils drei nah beieinander platzierten verschiedenen Optoden 12, 13 und 14 jeweils beabstandet voneinander sequentiell am Lichtwellenleiter zu positionieren, so daß auf diese Weise drei verschiedene Substanzen, beispielsweise drei verschiedene Gase und/oder Gasgemische an einer Vielzahl von verschiedenen Orten detektiert werden können, wobei die Anzeigen jeweils exakt den verschiedenen definierten Orten zugeordnet werden können. Soll mit Hilfe des optischen Sensors beispielsweise ein Brandmelder realisiert werden, so können auch bei großen Arealen genau die Orte einer Brandentwicklung aufgrund der dort freigesetzten und von den Optoden 12, 13, 14 registrierten Verbrennungsgase bestimmt werden.

Fig. 4 zeigt ausschnittsweise einen Aufbau eines im Strahlengang zwischen optischem Sender 2 und optischem Empfänger 4 angeordneten Lichtwellenleiters 10 mit darauf aufgebrachter Optode 12, 13, 14. Gleiche Teile wie in den vorherigen Figuren sind mit gleichen Bezugssymbolen versehen und nicht nochmals erläutert. Erkennbar ist ein Kern 20 des Lichtwellenleiters 10, der auf seiner gesamten Länge von einem Mantel 22 umhüllt ist. Der Brechungsindex für Licht des Kernes 20 ( $n_2$ ) weist typischerweise einen signifikant höheren Wert auf als der des Mantels 22 ( $n_1$ ). Wird als Material für den Lichtwellenleiter beispielsweise Quarzglas

verwendet, so weist dieses einen Brechungsindex von  $n_2 = 1,46$  auf. Für Luft beträgt der Wert des Brechungsindex  $n = 1$ . Der Wert des Brechungsindex des Mantels 22 liegt somit zweckmäßigerweise innerhalb dieser beiden Werte, beispielsweise bei  $n_1 = 1,2$ . Hierdurch wird erreicht, daß im Kern 20 geführtes Licht nahezu dämpfungsfrei und vollständig an einer Grenzfläche 21 Kern-Mantel reflektiert wird. Im dargestellten Ausführungsbeispiel ist ein Abschnitt 24 beziehungsweise ein Fenster 25 vorgesehen, in dem der Kern 20 freiliegt, das heißt vom umhüllenden Mantel 22 befreit ist und mit einer gassensitiven Schicht beziehungsweise einer Optode 12, 13, 14 bedeckt beziehungsweise umhüllt ist. Zweckmäßigerweise weist das Material der Optode 12, 13, 14 einen Wert für den Brechungsindex ( $n_3$ ) auf, der annähernd dem des Kernes 20 entspricht. Bei Verwendung von Quarzglas als Material für den Kern 20 des Lichtwellenleiters 10 ergeben sich somit die zweckmäßigen Werte für die Brechungsindizes  $n_2 = n_3 = 1,46$ . Hierdurch wird erreicht, daß ein Lichtstrahl eine Grenzfläche 27 Kern-Optode passieren kann, jedoch an einer Grenzfläche 23 Optode-Luft aufgrund der deutlich unterschiedlichen Brechungsindizes vollständig reflektiert wird.

Fig. 5 zeigt die Reflexionsvorgänge im Lichtwellenleiter 10 in einer schematischen Detailansicht. Gleiche Teile wie in den vorherigen Figuren sind mit gleichen Bezugssymbolen versehen und nicht nochmals erläutert. Erkennbar ist wiederum der Kern 20 mit umhüllendem Mantel 22, der an einem beispielhaften Abschnitt 24 unterbrochen ist. Dort befindet sich eine Optode 12, 13, 14. Ein beispielhaft eingezeichneter Lichtstrahl 30 wird an der Grenzfläche 21 Kern-Mantel aufgrund der unterschiedlichen Brechungsindizes reflektiert und verbleibt somit im Kern 20. Ein weiterer Lichtstrahl 32 kann die Grenzfläche 27 aufgrund der annähernd übereinstimmenden Brechungsindizes ungehindert, das heißt fast verlustfrei, durchdringen und wird dann an der Grenzfläche 23 Optode-Luft reflektiert, was am deutlich niedrigeren Wert des Brechungsindex in Luft ( $n = 1$ ) als des Wertes für den Brechungsindex der Optode ( $n_3$ ) liegt. Der Lichtstrahl 32 bleibt somit ebenfalls im Kern 20, wird jedoch beim Durchlaufen der Optode 12, 13, 14 je nach Wechselwirkung mit einer bestimmten Substanz signifikant abgeschwächt. Bei geeigneter Ansteuerung des optischen Senders 2 mit einem modulierten Signal und des optischen Empfängers 4 sowie der nachgeschalteten Auswerteeinheit läßt sich diese Signalabschwächung als Detektion einer Substanz auswerten.

#### Patentansprüche

1. Optischer Sensor zur Bestimmung wenigstens eines physikalischen und/oder chemischen Parameters einer Probe, mit wenigstens einem optischen Sender und wenigstens einem optischen Empfänger und einem in einem Strahlengang zwischen dem wenigstens einen optischen Sender und dem wenigstens einen optischen Empfänger angeordneten und der Probe aussetzbaren, bei Parameteränderung der Probe seine Absorption und/oder seinen Brechungsindex für elektromagnetische Strahlung bestimmter Wellenlänge verändernden, sensitiven Element, insbesondere gassensitiven Element, und gegebenenfalls mit einer dem wenigstens einen optischen Empfänger nachgeschalteten Auswerteeinheit, dadurch gekennzeichnet, daß der wenigstens eine optische Sender (2) und der wenigstens eine optische Empfänger (4, 6, 8) über wenigstens einen Lichtwellenleiter (10) mit wenigstens zwei voneinander abstandeten sensitiven Elementen gekoppelt ist.
2. Optischer Sensor nach Anspruch 1, dadurch ge-

kennzeichnet, daß die sensitiven Elemente für elektromagnetische Strahlung weitgehend durchlässige Optoden (12, 13, 14) sind, die bei Kontakt mit der Probe ihre Absorptionseigenschaften und/oder ihren Brechungsindex für elektromagnetische Strahlung verändern. 5

3. Optischer Sensor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Probe ein Gas und/oder ein Gasgemisch ist.

4. Optischer Sensor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Optoden (12, 13, 14) jeweils eine 10 Indikatorsubstanz aufweisen, die bei zumindest indirektem Kontakt mit wenigstens einem bestimmten Gas und/oder bestimmten Gasgemisch chemisch oder physikalisch reversibel mit dem Gas oder Gasgemisch wechselwirkt.

5. Optischer Sensor nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Wechselwirkung zu einem Auftreten eines zumindest lokalen Absorptionsmaximums für elektromagnetische Strahlung führt.

6. Optischer Sensor nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Lage des Absorptionsmaximums für jedes spezifische Gas und/oder Gasgemisch bei unterschiedlichen Wellenlängenwerten der elektromagnetischen Strahlung liegt. 20

7. Optischer Sensor nach einem der vorhergehenden 25 Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Höhe des Absorptionsmaximums mit der Konzentration des wechselwirkenden Gases und/oder Gasgemisches korreliert ist.

8. Optischer Sensor nach einem der Ansprüche 2 bis 7, 30 dadurch gekennzeichnet, daß die über wenigstens einen Lichtwellenleiter (10) mit dem wenigstens einen optischen Sender (2) und dem wenigstens einen optischen Empfänger (4, 6, 8) gekoppelten wenigstens zwei Optoden (12, 13, 14) in Reihe geschaltet sind. 35

9. Optischer Sensor nach einem der Ansprüche 2 bis 7, 40 dadurch gekennzeichnet, daß die über wenigstens einen Lichtwellenleiter (10) mit dem wenigstens einen optischen Sender (2) und dem wenigstens einen optischen Empfänger (4, 6, 8) gekoppelten wenigstens zwei Optoden (12, 13, 14) parallel geschaltet sind.

10. Optischer Sensor nach einem der vorhergehenden 45 Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der den wenigstens einen optischen Sender (2) mit dem wenigstens einen optischen Empfänger (4, 6, 8) koppelnde Lichtwellenleiter (10) einen Lichtsignale annähernd dämpfungsfrei führenden Kern (20) und einen den Kern (20) auf der gesamten Länge des Lichtwellenleiters (10) umhüllenden Mantel (22) aufweist, wobei der Mantel (22) an wenigstens einem Abschnitt (24) ein 50 Fenster (25) aufweist, in dem der Kern (20) vollständig mit einer Optode (12, 13, 14) bedeckt ist.

11. Optischer Sensor nach einem der Ansprüche 2 bis 55 9, dadurch gekennzeichnet, daß der den wenigstens einen optischen Sender (2) mit dem wenigstens einen optischen Empfänger (4, 6, 8) koppelnde Lichtwellenleiter (10) einen Lichtsignale annähernd dämpfungsfrei führenden Kern (20) und einen den Kern (20) auf der gesamten Länge des Lichtwellenleiters (10) umhüllenden Mantel (22) aufweist, wobei der Mantel (22) an wenigstens einem Abschnitt (24) unterbrochen ist und der Kern (20) an diesem Abschnitt (24) vollständig von einer Optode (12, 13, 14) umhüllt ist. 60

12. Optischer Sensor nach einem der Ansprüche 10 bis 65 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Brechungsindizes ( $n_2, n_3$ ) für Licht des Kernes (20) beziehungsweise der Optode (12, 13, 14) signifikant höhere Werte aufweisen als der Brechungsindex ( $n_1$ ) für Licht des Mantels (22).

13. Optischer Sensor nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Brechungsindex ( $n_2$ ) des Kernes (20) und der Brechungsindex ( $n_3$ ) der Optode (12, 13, 14) annähernd gleichgroße Werte aufweisen.

14. Optischer Sensor nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Lichtwellenleiter (10) auf seiner Länge mehrere voneinander beabstandete Abschnitte (24) mit auf jeweils gleiche Gase und/oder Gasgemische sensiven Optoden (12, 13, 14) aufweist.

15. Optischer Sensor nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Lichtwellenleiter (10) auf seiner Länge mehrere voneinander beabstandete Abschnitte (24) mit auf jeweils unterschiedliche Gase und/oder Gasgemische sensiven Optoden (12, 13, 14) aufweist.

16. Optischer Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der optische Sender (2) eine Quelle für elektromagnetische Strahlung, insbesondere eine Leuchtdiode (LED), die so gewählt wird, daß ihr Emissionspektrum zur gassensitiven Absorption der Optode paßt.

17. Optischer Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß der optische Sender (2) eine Quelle für elektromagnetische Strahlung, insbesondere eine Laserlichtquelle, einer diskreten Wellenlänge ist.

18. Optischer Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der optische Empfänger (4, 6, 8) eine Photodiode ist.

19. Optischer Sensor nach einem der Ansprüche 14 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß der wenigstens eine Lichtwellenleiter (10) ringförmig ausgebildet ist.

20. Optischer Sensor nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens zwei ringförmig ausgebildete Lichtwellenleiter (10) mit jeweils für unterschiedliche Gase und/oder Gasgemische sensiven Optoden (12, 13, 14) verwendet werden.

21. Optischer Sensor nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß die wenigstens zwei verwendeten Lichtwellenleiter (10) mit einem gemeinsamen optischen Sender (2) verschen sind.

22. Optischer Sensor nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß jeder der wenigstens zwei verwendeten Lichtwellenleiter (10) mit jeweils einem optischen Empfänger (4, 6, 8) verschen ist.

23. Optischer Sensor nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß die wenigstens zwei verwendeten Lichtwellenleiter (10) mit dem wenigstens einen optischen Sender (2) und dem wenigstens einen optischen Empfänger (4, 6, 8) jeweils in einem gemeinsamen Gehäuse vergossen sind.

24. Optischer Sensor nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß die wenigstens zwei verwendeten Lichtwellenleiter (10) mit dem wenigstens einen optischen Sender (2) und dem wenigstens einen optischen Empfänger (4, 6, 8) jeweils mit Kunststoff vergossen sind.

25. Optischer Sensor nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß der wenigstens eine optische Sender (2) und der wenigstens eine optische Empfänger (4, 6, 8) räumlich und/oder baulich zusammengefaßt sind.

26. Optischer Sensor nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß der wenigstens eine optische Sender (2) und der wenigstens eine optische Empfänger (4, 6, 8) in einem gemeinsamen Bauteil integriert sind.

27. Optischer Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Optoden (12, 13, 14) vorzugsweise mit gasförmigen Verbrennungsprodukten wechselwirken.

28. Optischer Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in der Auswerteeinheit die von wenigstens zwei verschiedenen Optoden (12, 13, 14) erfaßten Signale hinsichtlich ihrer spezifischen Laufzeiten erfassbar sind. 5

29. Optischer Sensor nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, daß unterschiedliche Laufzeiten der von verschiedenen Optoden (12, 13, 14) gelieferten Signale zur Gewinnung einer Ortsinformation auswertbar sind. 10

30. Optischer Sensor nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere ringförmige Lichtwellenleiter (10) Brände in weiträumigen Arealen detektieren und daß die gelieferten Signale in der Auswerteeinheit hinsichtlich des Brandortes auswertbar sind. 15

31. Verwendung mindestens einer der optischen Sensoren nach Anspruch 1 bis 30 in Brandmeldern. 15

32. Verwendung mindestens einer der optischen Sensoren nach Anspruch 1 bis 29 zur Bestimmung und Überwachung einer Luftgüte in Räumen. 20

33. Verwendung nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, daß mit den erhaltenen Meßwerten Vorrichtungen zur Lüftungs- und Klimaregelung in Innenräumen geregelt werden. 25

34. Verwendung nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, daß die Konzentration von CO und/oder CO<sub>2</sub> erfaßt wird. 25

35. Verwendung nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, daß mit den erhaltenen Meßwerten Lüftungsanlagen in Tunnels geregelt werden. 30

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

35

40

45

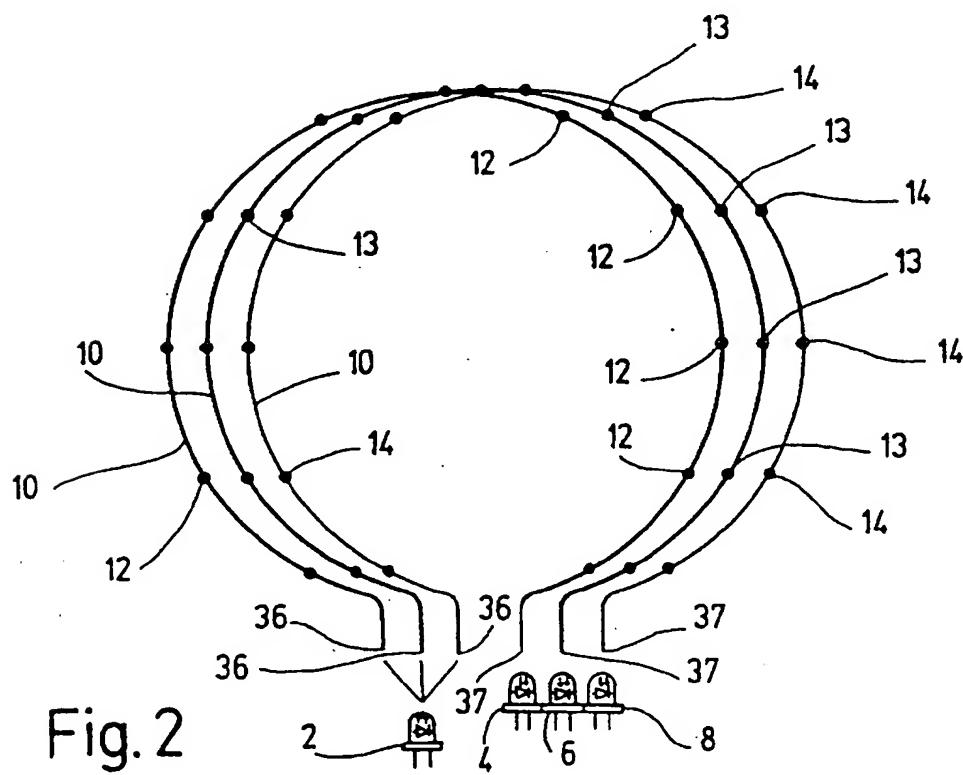
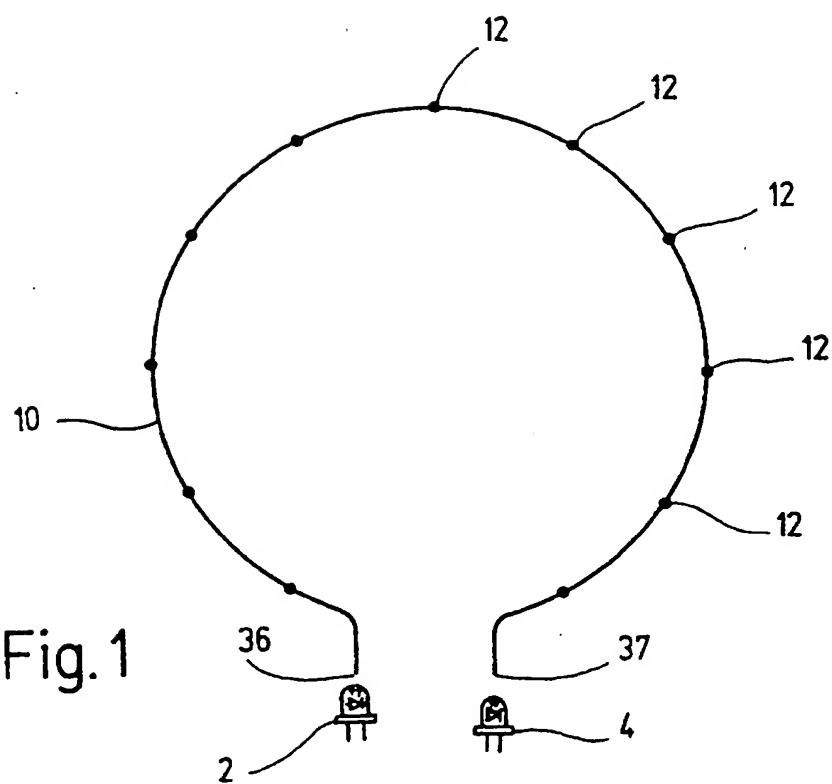
50

55

60

65

**- Leerseite -**



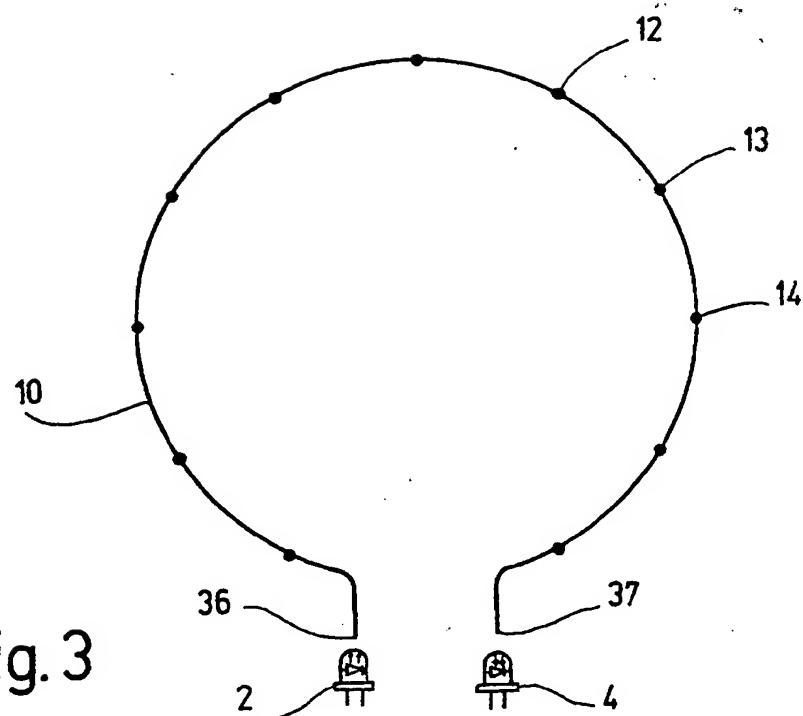


Fig. 3

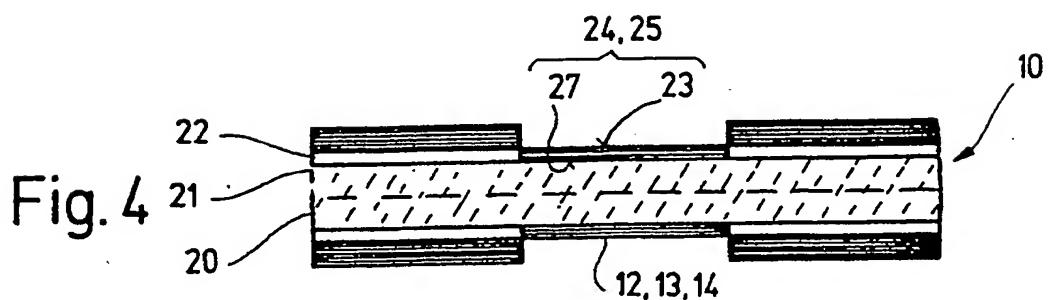


Fig. 4

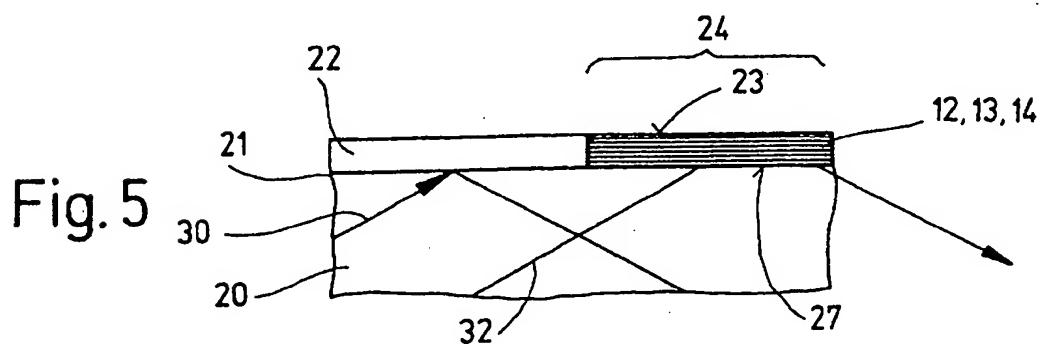


Fig. 5